

doi: 10.7690/bgzdh.2025.07.006

下一代大型客机分布式通信导航监视系统架构研究

冯众保, 冯晓波

(中电科航空电子有限公司, 成都 611731)

摘要: 为提升下一代大型客机机内空间、降低飞机空重和功耗, 设计一种分布式通信导航监视 (communication, navigation and surveillance, CNS) 系统架构。分布式 CNS 系统架构设计将射频 (radio frequency, RF) 收发传感器综合化, 以及系统的大部分处理分布到靠近天线的飞机区域, 系统的其余数字部分托管在通用计算平台综合模块化航空电子系统 (integrated modular avionics, IMA)。结果表明, 该设计能最大化利用共享资源, 减少射频线缆损耗、系统设计复杂度、成本以及尺寸、重量和功耗 (size, weight, and power, SWaP), 为飞机设计和开发提供思路。

关键词: 通信导航监视系统; 分布式无线电; 架构设计

中图分类号: V243.1 **文献标志码:** A

Research on Architecture of Distributed Communication, Navigation and Surveillance System for Next Generation Airliner

Feng Zhongbao, Feng Xiaobo

(CETC Avionics Co., Ltd., Chengdu 611731, China)

Abstract: A distributed communication, navigation and surveillance (CNS) system architecture is designed to improve the internal space and reduce the empty weight and power consumption of the next generation large passenger aircraft. The distributed CNS system architecture design integrates the RF transceiver sensors and distributes most of the system processing to the aircraft area near the antenna, with the rest of the system's digital portion hosted on a general-purpose computing platform, the IMA. The results show that the design can maximize the use of shared resources, reduce RF cable loss, system design complexity, cost and size, weight, and power (SWaP), and provide ideas for aircraft design and development.

Keywords: communication, navigation and surveillance system; distributed radio; architecture design

0 引言

大型客机无线电通信导航监视 (CNS) 系统是航空电子系统的重要组成部分, 通信主要实现飞机与飞机之间、飞机与地面之间的可靠话音和数据通信; 导航主要实现飞机起飞、巡航和着陆阶段的定位和导航; 综合监视主要实现飞机防撞、近地、气象告警, 确保飞机飞行安全^[1]。

目前的大型客机通信导航监视系统还是传统的分体式架构设计, 系统构型包含多个独立的现场可更换单元 (line replaceable unit, LRU), 其缺点是尺寸大、重量大、功耗高和经济性差。我国的民用大型飞机研制还处于起步阶段, 民用飞机分布式 CNS 系统架构的研制尚属空白。为减少 RF 线缆损耗、设计复杂度、成本和尺寸、重量和功耗 (SWaP), 笔者提出了将射频收发 (TX/RX) 传感器和大部分信号处理分布到靠近天线的飞机区域, 其余数字部分托管在通用计算平台综合模块化航空电子系统

(IMA)^[2], 以此最大化利用共享资源的分布式 CNS 系统架构解决方案。

1) 通过构建通信导航监视系统分布式总体架构, 将通信、导航、监视功能采用分布式原理进行分配, 用于指导飞机通信导航监视系统总体架构设计;

2) 通过构建 CNS 系统音频子系统分布式架构, 将分布式通信导航监视单元模拟音频、CAS 系统告警音指令、客舱话音等音频在音频管理单元 (audio management unit, AMU) 进行数字信号处理, 实现全机的音频收听、机内通话、机内广播、机外话音通信等;

3) 通过构建通信子系统, 主要包括: VHF 通信子系统、HF 通信子系统、AeroMACS 通信子系统、卫星通信子系统分布式架构, 通过远程单元使得功放、射频、模拟电路等尽量靠近天线, 减少损耗, 同时通过通用数字信号处理平台 IMA^[3-4]进行数字信号处理、协议转化、数据路由等, 极大节约

收稿日期: 2024-09-18; 修回日期: 2024-10-19

第一作者: 冯众保 (1979—), 男, 四川人, 硕士。

机上资源,降低功耗、重量、硬件成本等;

4) 通过构建导航监视子系统,主要包括:GNSS 导航子系统、UV 频段综合子系统(实现机载 ILS、VOR、MB 功能)、L 频段综合子系统(实现机载 DME、ATC、TCAS、ADS-B IN/OUT 功能)、ADF 子系统、LRA 子系统、气象雷达子系统和 TAWS 监视子系统分布式架构,通过远程单元使得功放、射频、模拟电路等尽量靠近天线,减少损耗,同时通过通用数字信号处理平台 IMA 进行数字信号处理、

协议转化和数据路由等,极大节约机上资源,降低功耗、重量和硬件成本等。

1 当前的 CNS 系统架构

目前的大型客机通信导航监视系统还是传统的分体式架构设计,系统由多个独立的 LRU 组成,例如波音 B737、B747、B787、B737MAX,空客的 A320、A380、A350、A320NEO 等系列典型机型的通信导航监视系统架构,典型的架构如图 1 所示。

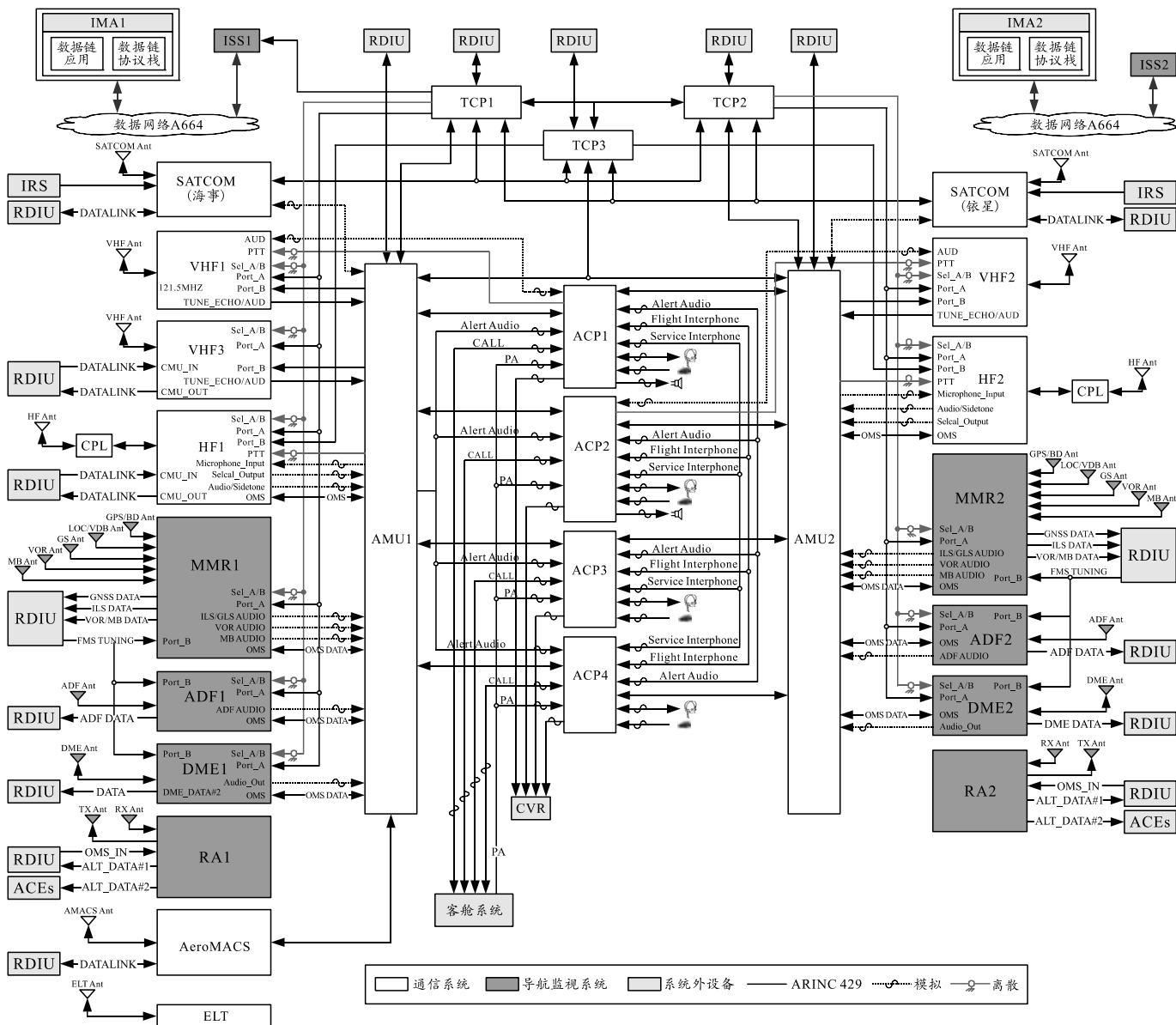


图 1 传统的 CNS 系统架构

2 分布式 CNS 系统架构设计

2.1 分布式 CNS 系统架构总体设计

图 2 为一种大型客机分布式 CNS 系统架构, CNS 系统的数字信号处理将在中央单元 IMA 中处

理,模拟的射频、中频将在远程单元 RRU 中处理,基带模拟音频信号在 AMU 中进行统一处理;驾驶舱调谐控制面板 TCP 将采用 ARINC664 总线^[5]通过交换机与 IMA 系统互联,实现对 CNS 系统的调谐控制和显示,音频控制面板 ACP 采用 ARINC429

总线^[6]与音频管理单元 AMU 交联,实现对飞机音频信号的控制。

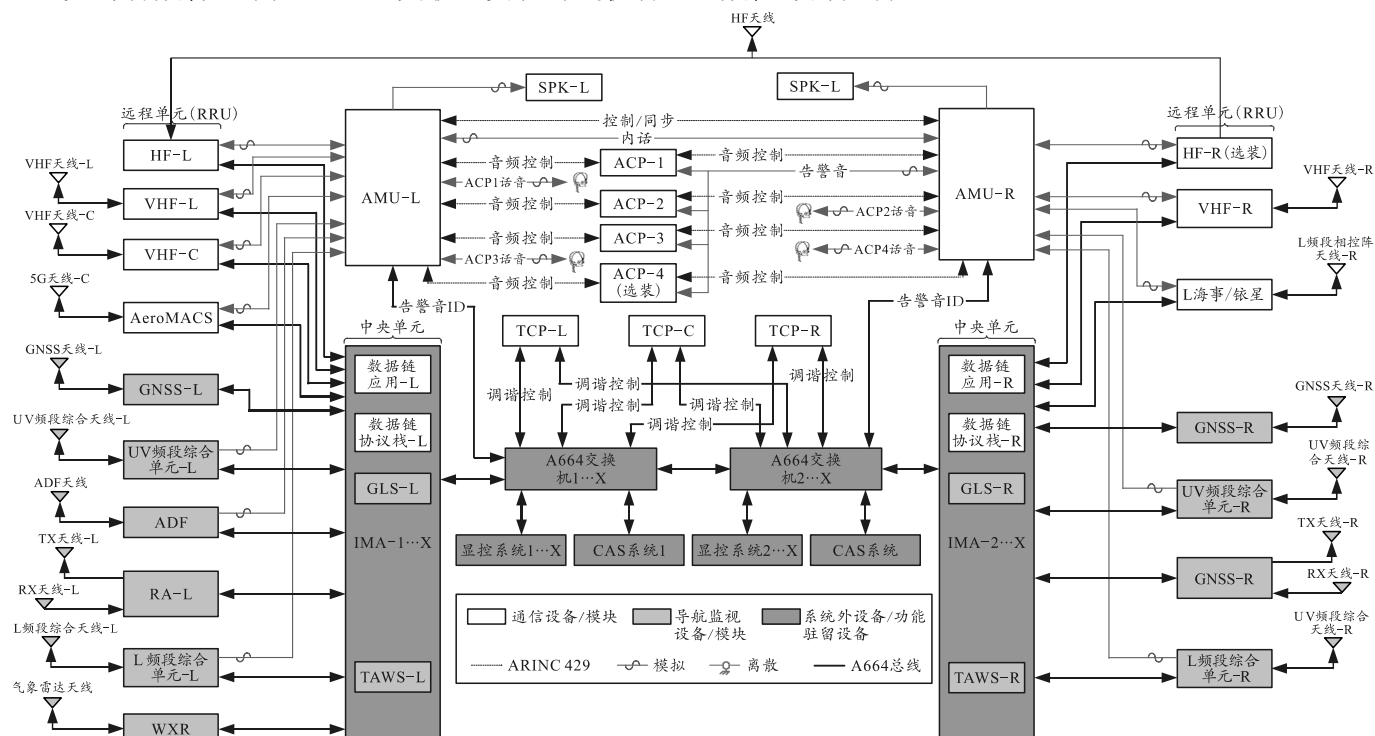


图2 分布式 CNS 系统整体架构

2.2 分布式音频子系统架构设计

图3为音频子系统架构,音频子系统的主要功能是实现飞机语音信号的收发,包括机外话音通信、导航提示音播放、告警音播放、舱间通信、驾驶舱内话和地勤通信等,主要性能需要满足民航适航 DO-214A^[7]的性能要求。分布式通信、导航、监视远程单元模拟信号处理 (ASP) 模块负责将射频信号转换成基带模拟信号,并通过模拟通道输出给音频管理单元,由音频管理单元、音频控制面板和扬声器实现飞机的音频信号处理、音频播放和机内外话音通信功能。

2.3 分布式通信子系统架构设计

图4和5分别为 HF、VHF 通信子系统架构, HF 通信和 VHF 通信采用无源天线收发机外射频信号,实现飞机的 HF、VHF 话音和数据通信,其中天线耦合、发射功率放大、射频/中频信号处理、部分模拟信号处理在远程单元中实现,模拟话音将在音频子系统中进行信号处理和应用,数据通信信号通过 ARINC664 网络先送往中央单元 IMA 中进行协议转换、航空接口定义,然后送往驻留在 IMA 中的数据链协议栈、协议栈应用,实现飞机与飞机之间、飞机与地面之间的数据通信。

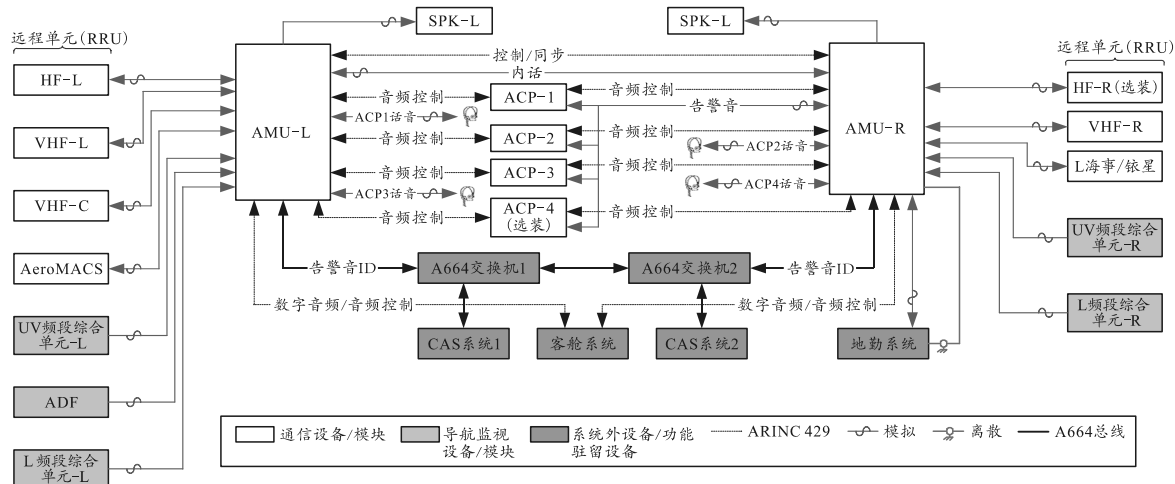


图3 分布式音频子系统架构

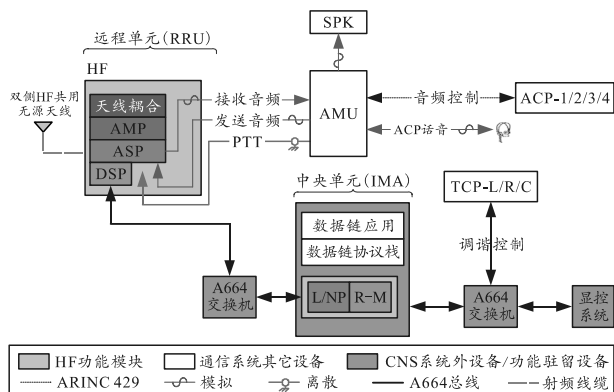


图 4 分布式 HF 通信子系统架构

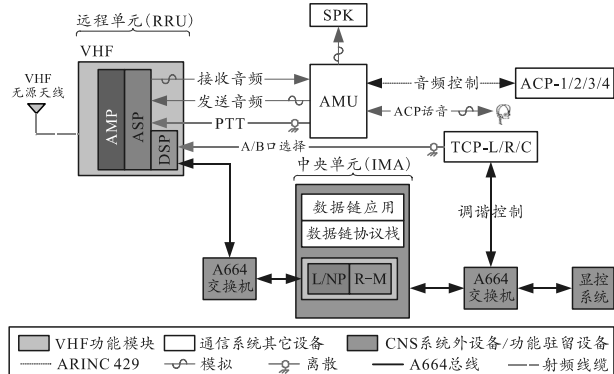


图 5 分布式 VHF 通信子系统架构

图 6 为卫星通信子系统架构，卫星通信采用有源相控阵天线收发机外射频信号，实现飞机的 L 波段海事、铱星话音和数据通信，其中发射功率放大、射频/中频信号处理在天线中实现，模拟信号处理、控制管理和数据通信数字信号处理在远程单元中实现，模拟语音将在音频子系统中进行信号处理和应用，数据通信信号通过 ARINC664 网络先送往中央单元 IMA 中进行协议转换、航空接口定义，然后送往驻留在 IMA 中的数据链协议栈、协议栈应用，实现飞机通过卫星的数据通信。

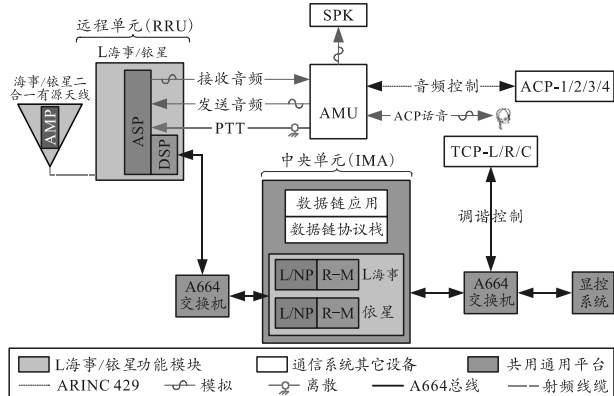


图 6 分布式卫星通信子系统架构

图 7 为 AeroMACS 通信子系统架构，AeroMACS 通信采用有源天线收发机外射频信号，实现飞机的

机场区域话音和数据通信，其中发射功率放大、射频/中频信号处理在天线中实现，模拟信号处理、控制管理和数据通信数字信号处理在远程单元中实现，模拟语音将在音频子系统中进行信号处理和应用，数据信号通过 ARINC664 网络先送往中央单元 IMA 中进行 L 频段海事、铱星的协议转换、航空接口定义，然后送往驻留在 IMA 中的数据链协议栈、协议栈应用，实现飞机通过机场的 AeroMACS 网络的数据通信。

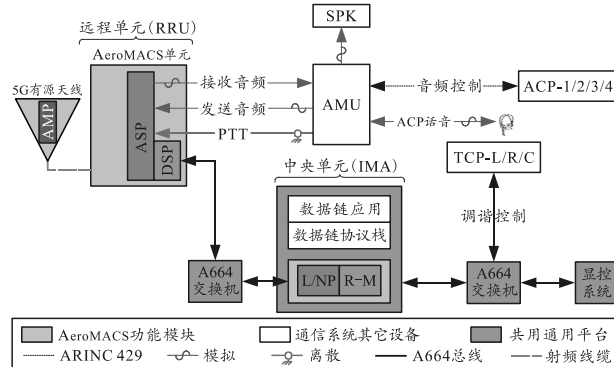


图 7 分布式 AeroMACS 子系统架构

2.4 分布式导航监视子系统架构设计

图 8 为 GNSS 卫星导航子系统架构，GNSS 卫星导航系统采用北斗、GPS、伽利略三合一有源天线接收机外射频信号，其中信号低噪声放大、射频/中频信号处理在天线中实现，模拟信号处理、数字信号处理在远程单元中实现，数据通过 ARINC664 网络先送往中央单元 IMA 中进行协议转换、航空接口定义，然后送往显控系统显示飞机的 PVT 信息。

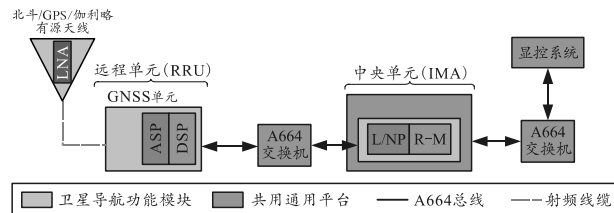


图 8 分布式卫星导航子系统架构

图 9 为 UV 频段综合子系统架构，UV 频段综合子系统实现飞机的 LOC/GS、MB、VOR、VDB 功能，采用 LOC/GS、VOR、VDB 三合一天线和 MB 天线接收机外射频信号，射频/中频信号处理、部分模拟信号处理、数字信号处理在远程单元中实现，模拟信号处理输出的导航音将提供给音频子系统，用于音频信号处理的机组提醒；控制管理和导航数据通过 ARINC664 网络先送往中央单元 IMA 中进行协议转换、航空接口定义，然后送往显控系统显示。

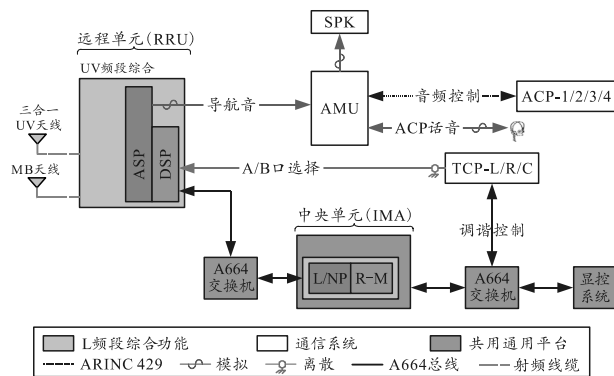


图 9 分布式 UV 频段综合子系统架构

图 10 为 GLS 导航子系统架构, GLS 导航子系统实现飞机的 GBAS 功能, GLS 系统驻留在 IMA 中, 通过处理 GNSS 导航子系统、UV 频段综合子系统的卫星导航数据、VDB 数据实现飞机的 GBAS 功能, 并将 GBAS 导航数据通过 ARINC664 网络送往显控系统进行显示。

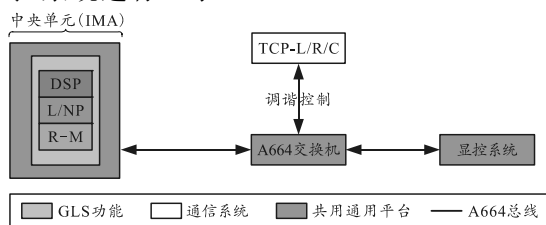


图 10 分布式 GLS 导航子系统架构

图 11 为 ADF 导航子系统架构, ADF 导航子系统采用 ADF 有源天线接收机外射频信号, 其中信号低噪声放大、射频/中频信号处理在天线中实现, 模拟信号处理、数字信号处理在远程单元中实现, 数据通过 ARINC664 网络先送往中央单元 IMA 中进行协议转换、航空接口定义, 然后送往显控系统显示。

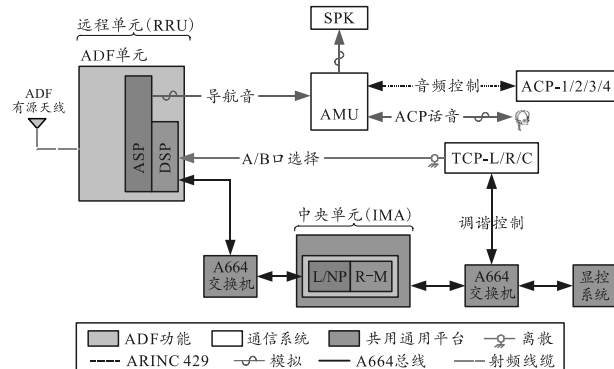


图 11 分布式 ADF 导航子系统架构

图 12 为 LRA 导航子系统架构, LRA 导航子系统采用无源天线收发机外射频信号, 其信号放大、射频/中频信号处理、模拟信号处理、数字信号处理在远程单元中实现, 数据通过 ARINC664 网络先送

往中央单元 IMA 中进行协议转换、航空接口定义, 然后送往显控系统显示。

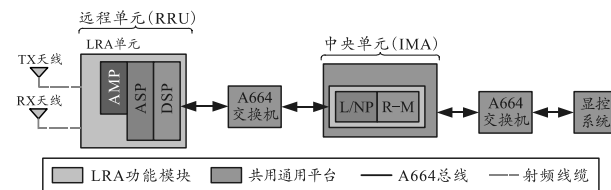


图 12 分布式 LRA 导航子系统架构

图 13 为 L 频段综合子系统架构, L 频段综合子系统采用无源相控阵天线收发机外射频信号, 其信号放大、射频/中频信号处理、部分模拟信号处理、数字信号处理在远程单元中实现, 模拟导航音从远程单元送往音频子系统进行混音和播放, 导航数据通过 ARINC664 网络先送往中央单元 IMA 中进行协议转换、航空接口定义, 然后送往显控系统显示, TCP 调谐控制数据通过 ARINC664 网络送往中央单元 IMA 接口定义、协议转换后送往远程单元, 对远程单元的工作模式进行控制。

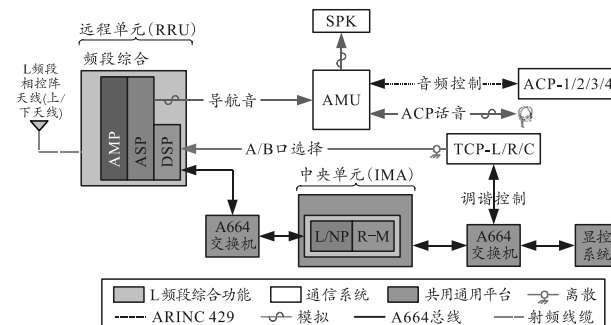


图 13 分布式 L 频段综合子系统架构

图 14 为气象雷达 WXR 监视子系统架构, WXR 监视子系统采用相控阵天线收发机外射频信号, 其信号放大、射频/中频信号处理、部分模拟信号处理、数字信号处理在远程单元中实现, 数据通过 ARINC664 网络先送往中央单元 IMA 中进行协议转换、航空接口定义, 然后送往显控系统显示。TCP 调谐控制数据通过 ARINC664 网络送往中央单元 IMA 接口定义、协议转换后送往远程单元, 对远程单元的工作模式进行控制。

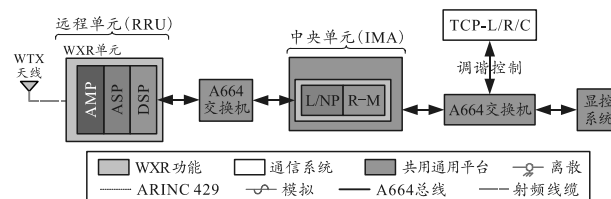


图 14 分布式 WXR 监视子系统架构

图 15 为近地告警 TAWS 监视子系统架构, 实现飞机的近地告警功能, TAWS 系统驻留在 IMA

中, 通过处理 L 频段综合子系统、WXR 子系统的数实现飞机的 TAWS 功能, 并将 TAWS 数据通过 ARINC664 网络送往显控系统、CAS 系统进行显示。

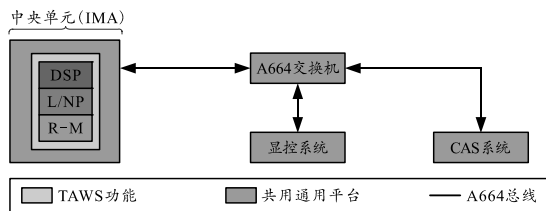


图 15 分布式 TAWS 子系统架构

3 分布式 CNS 系统架构的优点和难点

3.1 分布式 CNS 系统架构的优点

1) 重量轻。包括: 采用 L 频段综合、UV 频段综合、天线复用等方式, 极大减少了系统设备的数量, 从而减少了重量; 将数据处理统一在中央处理单元/分布式中央处理单元中实现, 与其他系统资源复用, 从而减少了系统的重量; 采用 1 000 Mbps 高速率 ARINC664 总线连接, 之前需要大量 ARINC429 总线的数据, 现在可以在少量的 ARINC664 总线上即可实现, 从而大大减少了线缆重量。

2) 系统可重构性强, 从而提升了系统的可用性、连续性。分布式架构中的数字信号处理、协议转换、接口定义均在统一的通用 IMA 平台中实现, 当部分系统出现故障时, 可以通过软件配置快速实现系统的重构, 提升了系统的可用性、连续性。

3) 采用标准化的开放式体系架构, 设备选型符合相关工业标准, 系统及设备易于实现功能扩展和模型维护。

4) 系统安全性高。系统的数字信号处理、协议转换、接口定义软件均驻留在高安全性通用平台 IMA(A 级) 中, 原本最低设计保证等级要求为 B、C、D 级的系统均获得 A 级^[8]硬件平台支持, 只需

要进一步提升驻留软件的等级即可实现系统的高安全等级。

5) 充分考虑未来功能扩展性, 适应未来系统及设备的需求变化。

3.2 分布式 CNS 系统架构的难点

1) 射频单元在综合化过程中需要处理多个射频通道之间的电磁兼容性问题;

2) 远程单元大多分布在机体蒙皮下方、飞机垂尾等区域, 这些区域缺乏统一的风道, 设备需要采用自然冷却, 因此设备的热设计是架构设计的一大难点。

4 结束语

笔者提供一种大型客机机载 CNS 系统分布式架构设计的方法, 为以后各种民机航电 CNS 系统的设计提供了一种思路, 同时该设计方法也可以用于飞机其他系统的设计和开发。

参考文献:

- [1] 王勇, 刘天华, 罗斌, 等. 民用飞机无线电通信导航监视系统[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2019.
- [2] Arinc678 Guidance for Distributed Radio Architectures[Z]. 2021.
- [3] Arinc650 Integrated Modular Avionics Packaging and Interfaces[Z]. Aeronautical Radio Inc. 1994.
- [4] Arinc Report 651-1 Design Guidance for Integrated Modular Avionics[Z]. 1997.
- [5] Arinc664p7 Avionics Full Duplex Switched Ethernet (Afdx) Network[Z]. 2005.
- [6] Arinc429p1-18 Digital Information Transfer System (Dits) Part 1 Functional Description, Electrical Interfaces, Label Assignments and Word Formats[Z]. 2012.
- [7] RtcA Do-214A Audio Systems Characteristics and Minimum Operational Performance Standards for Aircraft Audio Systems and Equipment[S]. 2013.
- [8] Sae Arp4761 Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment[Z]. 1996.